

## **APLICACIÓN DE PLACAS BASADAS EN RESIDUOS DEL DESMOTE DEL ALGODÓN A ENVOLVENTES HORIZONTALES DE VIVIENDAS**

Eje 2: Tecnología para la construcción sustentable

**Ferreira Joao<sup>1</sup>**

**Anderson Alan Murdoch<sup>1</sup>**

**Argento Romina Soledad<sup>1</sup>**

**Malgor Andrés<sup>1</sup>**

**Grether Rubén Marcos<sup>1</sup>**

**Carrasco María Fernanda<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda –CECOVI- Facultad Regional Santa Fe – UTN, Argentina, joaferreira7@gmail.com

### **RESUMEN**

El censo poblacional de 2010 indica que alrededor del 30% de las viviendas de la región algodонера poseen cerramientos horizontales formados por chapas de acero galvanizado, sin ningún tipo de ciellorraso. Este tipo de cubierta, sin aislación térmica, redundante en una falta de confort y consumo excesivo de energía, produciéndose además en épocas invernales el fenómeno de la condensación superficial, que genera humedecimiento de la envolvente, propiciando el crecimiento de hongos y el desarrollo de afecciones crónicas (alérgicas y respiratorias).

Frente a esto, se propone el empleo de elementos constructivos compuestos por residuos de desmote del algodón, aportando de manera innovadora una solución viable a la problemática ambiental (aprox. 1.195.000 m<sup>3</sup>) de residuos por campaña sin uso previsto), a la reducida demanda laboral de este sector agroindustrial, y al fuerte déficit habitacional existente en la región, mediante nuevas tecnologías de reducido costo, rápida ejecución y adecuadas características de aislamiento térmico.

**PALABRAS CLAVES: ALGODÓN - RESIDUO - CIELLORRASO - AISLAMIENTO HIGROTÉRMICO**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de la población y de la urbanización, así como los cambios en los estilos de calidad de vida debido a las innovaciones tecnológicas, contribuyeron a un aumento tanto de la cantidad como de la variedad de los residuos sólidos generados por la industria, la minería y las actividades



agrícolas. Los residuos agrícolas son los subproductos de diversas actividades como la cosecha y el procesamiento posterior de estos materiales, y su eliminación es un problema serio en países en desarrollo.

Existe una cantidad importante de residuos que origina la industria que podrían ser reutilizados. Por la escala de producción, y la capacidad de consumir materiales, el sector de la construcción es una alternativa válida para dar destino a residuos que no pueden volver al ambiente en forma sustentable. El empleo de residuos agroindustriales lignocelulósicos como materia prima para la industria de la construcción, aparece como una alternativa al uso intensivo de la madera y otros recursos naturales no renovables en todo el mundo. (Varandaa, L. et al. 2013) (José, F.J. et al. 2010) (Barbirato, G. et al. 2014) (Pirayesh, H. et al. 2013) (Pirayesh, H. et al. 2012) (Fiorelli, J. et al. 2012) (Monteiro de Barros Filho, R. et al. 2011) (Panyakaew, S. et al. 2011) (Mendez, L. et al. 2006) (Gatani, M.P. et al. 2013)

El algodón, incluyendo las tareas de cultivo, cosecha y desmote, ha sido la actividad que fomentó la ocupación territorial del noreste de Argentina, a principios del siglo XX. Esta producción agropecuaria posibilitó el asentamiento de población, tanto a nivel rural como urbano, configurando un crecimiento sostenido en la zona mencionada y extendiéndose luego a parte del noroeste de nuestro país.

La producción de algodón actualmente se desarrolla con mayor importancia dentro de nuestro país en las provincias de Santa Fe, Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Corrientes, con una fuerte concentración geográfica (Figura 1). Los residuos generados por esta actividad (aproximadamente 300.000 a 450.000 t anuales) tienen escasa aplicación y más de allá de ser utilizados como alimento de ganados, o camadas para aves, no se han relevado otras aplicaciones alternativas, presentando como en muchos casos de residuos agroindustriales serios inconvenientes para su disposición final. (Delssin, E. 2012) (Ciannamea, E. et al. 2010).

Estos inconvenientes se acrecientan debido a la implementación de la cosecha mecánica, que si bien mejora notablemente la rentabilidad del cultivo, genera una mayor cantidad de residuo que debe ser dispuesta de manera efectiva. En muchos casos se opta por calcinarlos, originando serios problemas de polución, malestares, posibilidad de afección respiratoria y riesgos asociados a la quema de biomasa que podría estar contaminada con agroquímicos (Cravzov, A. et al. 2000) para las localidades aledañas (Figura 2). (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable 2005).

Por otra parte, la variabilidad interanual de la producción algodonera, que puede observarse en la Tabla 1 (Ministerio de Agroindustria), atenta contra la implementación de tecnologías de alta complejidad para el aprovechamiento de los descartes. Es por esto que nuestro planteo se basa en obtener una disposición final para el residuo con utilización de tecnologías sencillas, fácilmente apropiables y transferibles, mediante la fabricación de aglomerados de cascarilla con cemento.

Por otro lado, los resultados del censo 2010 (INDEC) indican que, del total de las viviendas de la Argentina, el 11.55 % poseen cubiertas de chapas sin ningún tipo de cielorraso.

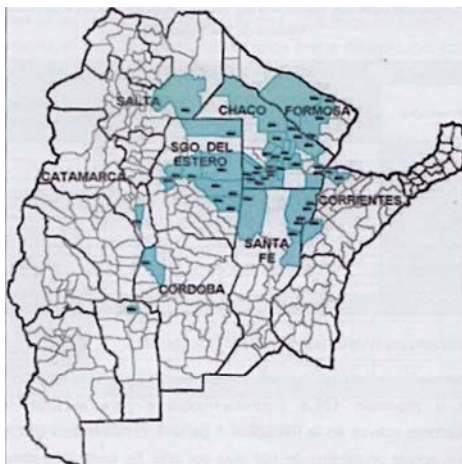


Fig. 1. Zona de producción aldonera en Argentina



Fig. 2. Acopio de cascarilla de algodón incendiado

Año	Algodón en bruto, t x 10 <sup>3</sup>	Año	Algodón en bruto, t x 10 <sup>3</sup>
2000/2001	509,41	2009/2010	753,50
2001/2002	218,16	2010/2011	1032,50
2002/2003	201,51	2011/2012	200,13
2003/2004	354,00	2012/2013	543,00
2004/2005	448,00	2013/2014	1020,60
2005/2006	77,40	2014/2015	795,30
2006/2007	545,40	2015/2016	671,82
2007/2008	489,60	2016/2017	616,16
2008/2009	386,70		

Tabla 1. Variabilidad anual de producción de algodón

No obstante, en la región de producción aldonera se puede apreciar que estos porcentajes se elevan en gran medida, alcanzando en la provincia de Santa Fe, un 30% para los departamentos Vera y 9 de Julio, y 20% el departamento de General Obligado. Por otro lado, para las provincias de Chaco y Formosa, estos índices llegan a un 33% y 36% respectivamente.

El empleo de este tipo de cubiertas sin cielorraso difiere de las recomendaciones para la construcción de viviendas, que indican la necesidad de emplear materiales aislantes que reduzcan la transmisión de calor. Estos cerramientos, deficientes en cuanto a su aislación térmica, redundan en falta de confort y consumo excesivo de energía para acondicionar los ambientes, y en épocas invernales puede conducir a condensación superficial, generando humedecimiento de la envolvente, propiciando el crecimiento de hongos y el desarrollo de afecciones crónicas (alérgicas y respiratorias).

Por otra parte, la mayoría de los materiales que se emplean habitualmente como aislantes bajo cubiertas (lana de vidrio, poliestireno expandido, espuma de polietileno y poliuretano expandido) poseen un elevado costo y sus materias primas deben ser importadas desde otros países.

Además, otro aspecto importante a tener en cuenta es que dado que la región de producción de algodón se encuentra comprendida en la zona de alto y mediano riesgo de afectación por Mal de Chagas (CCIA), la inclusión en las viviendas de una estructura de cielorraso se constituiría en una



barrera mecánica para prevenir el ataque de la vinchuca y por otra parte, contribuiría a la limpieza de la vivienda.

Así, el desarrollo de elementos constructivos no tradicionales mediante la utilización de residuos de desmote del algodón, permitiría intentar atender al mismo tiempo la problemática ambiental de este sector agroindustrial, y la necesidad de responder con nuevas tecnologías de reducido costo y rápida ejecución al déficit habitacional existente en la región.

Por otra parte, la producción de aglomerados implementando tecnologías sencillas generaría puestos de trabajo con reducida demanda de calificación, ampliando la demanda laboral del sector desmotador, que sólo realiza actividades intensivas durante unos 100 días al año, y contribuiría a mejorar el comportamiento higrotérmico de las viviendas en esta región del país.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Consideraciones generales

Los materiales utilizados fueron residuos del proceso de desmote del algodón (cascarilla) y cemento portland (IRAM 50000), con categoría resistente CP40. Adicionalmente, se empleó para el moldeo de los aglomerados, cloruro de calcio de calidad industrial como aditivo acelerante de los procesos de hidratación ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Para evaluar las propiedades de estos aglomerados y determinar la dosificación óptima, se adoptó para el análisis un diseño de experimentos central compuesto centrado (Montgomery, D. et al. 1996) (Figura 3), en el cual las variables principales son la presión de moldeo y la razón cemento/agua. Para los aglomerados obtenidos, las propiedades evaluadas fueron densidad en estabilización de masa (IRAM 9705), resistencia a compresión (IRAM 9541), la resistencia a flexión (IRAM 9706), y conductividad térmica a partir del método de Less y Chorlton.

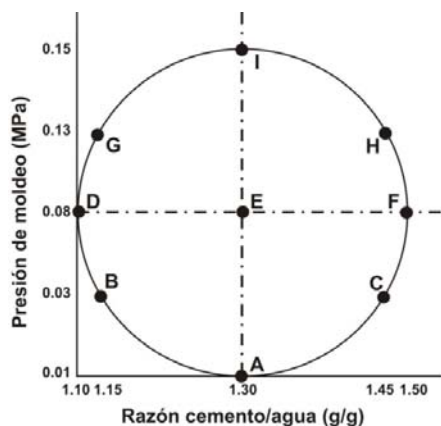


Fig. 3. Diseño de experimento para el análisis de propiedades

A partir de estos resultados, se realizaron cálculos de transmitancia térmica de acuerdo a la norma IRAM 11601 para diferentes estructuras de cubiertas livianas, a fin de comparar la capacidad de aislamiento térmico para condición de invierno (en la cual el flujo de calor es ascendente), y para condición de verano (en la cual el flujo de calor es descendente). Los resultados obtenidos se compararon con respecto a los valores límite de transmitancia térmica establecidos para cada zona bioambiental en la norma IRAM 11603.



## 2.2. Elección de los paquetes constructivos

Se llevó a cabo una tarea de relevamiento de datos para identificar las tipologías constructivas más arraigadas en la región, a fin de poder utilizarlas como parámetro para la comparación. Luego se diseñaron y modelaron los distintos paquetes constructivos y se realizaron los cálculos pertinentes (Figura 4).

Las estructuras de cubierta consideradas en el análisis son:

- Cubierta de chapa sin cielorraso (Tipo A).
- Cubierta de chapa con cielorraso sujeto a la tirantearía: Madera con aislante TBA10 (Tipo B), madera con aislante de lana de vidrio 25 mm (Tipo C), madera con aislante de espuma de poliuretano 25 mm (Tipo D), placa de cascarilla 20 mm (Tipo E), placa de cascarilla 30 mm (Tipo F).
- Cubierta de chapa con cielorraso suspendido desmontable sobre estructura metálica: placa de yeso 15 mm (Tipo G), placa Horpac® 20 mm (Tipo H), placa de cascarilla 20 mm (Tipo I), placa de cascarilla 30 mm (Tipo J).

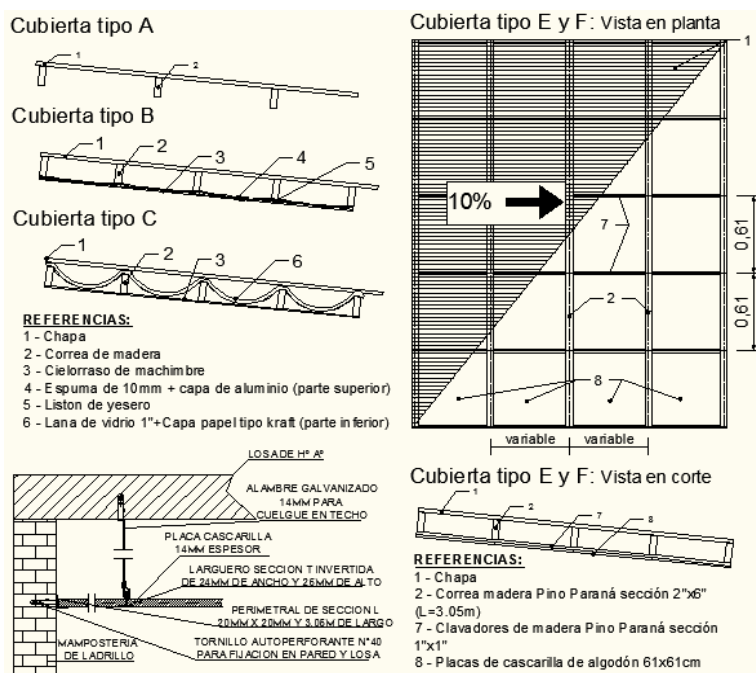


Fig. 4. Detalles de algunos de los paquetes constructivos propuestos

## 2.3. Diseño de un sistema constructivo empleando placas de cascarilla para cielorraso

Se optó por establecer un tamaño único de placas para poder unificar las dimensiones de los moldes utilizados para la producción. De esta forma se adoptaron elementos cuadrados de 61cm de lado y espesores variables, permitiendo que se pueda emplear la misma estructura metálica que se utiliza para las placas de cielorrasos desmontables disponibles hoy comercialmente.

Los espesores de placas fueron incrementados respecto a los obtenidos a partir del dimensionamiento a flexión para obtener una mayor contribución de este material como aislante térmico en el paquete, adoptando placas de 2 a 3 cm de espesor. Además, este





sobredimensionamiento admite las solicitaciones debidas a los distintos estados de carga a los que serán sometidos los paneles debido al acopio, traslado, manipuleo, etc.

En cuanto a la aplicación de este tipo de cielorrasos a obras existentes (Cubiertas tipo E y F, Figura 4), se puede utilizar el sistema desmontable, o bien, si se desea fijar las placas directamente sobre las correas existentes deberá verificarse que estas se encuentren equiespaciadas 61 cm entre sí; caso contrario, se dispondrán listones clavadores de madera en forma perpendicular a las correas, que posean el espaciamiento antes mencionado, y sobre éstos se fijarán las placas de cascarilla (figura 5).



Fig. 5. Placas de cascarilla

Se construyeron prototipos para evaluar la factibilidad de montaje y el comportamiento a largo plazo, considerando las fijaciones de placa planteadas anteriormente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo al diseño de experimentos propuesto, se moldearon paneles de cascarilla de algodón aglomerada con cemento, utilizando razones cemento/agua variables entre 1.1 y 1.5 y presiones de moldeo variables entre 0.01 y 0.15 MPa (Figura 3). En lo que respecta a la resistencia mecánica de los paneles, en la figura 6 se muestran las superficies de isorrespuesta correspondientes a la determinación de resistencia a flexión simple.

De la gráfica se observa que la resistencia a flexión aumenta a medida que se incrementan la presión de moldeo y la relación c/a, alcanzando para las dosificaciones empleadas una tensión máxima de rotura de 0,4 MPa. A partir de este valor se determinó la tensión admisible del material, adoptando un coeficiente de seguridad, y con ésta se calcularon los espesores mínimos en función de sus dimensiones, arrojando valores de entre 1 y 3 cm para placas de 60 a 120 cm de lado respectivamente.

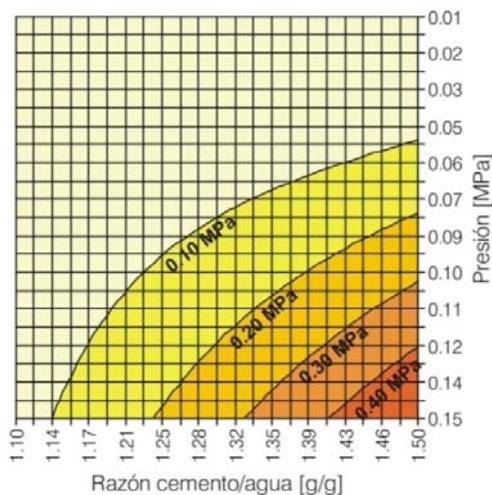


Figura 6. Resistencia a flexión simple

La densidad final en estabilización de los aglomerados obtenidos es relativamente baja (entre 350 y 750kg/m<sup>3</sup>), resultando similares a los correspondientes a los aglomerados de partículas de madera tradicionales, esto indica que a la hora de proyectar un paquete estructural, el peso propio del mismo no sería un factor condicionante. En virtud de ello, estas placas presentan pesos



compatibles con el levantamiento de cargas con ambas manos según la Resolución 295/03 de Higiene y Seguridad en el trabajo del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.

En relación a las alternativas de montaje se observa en las figuras 7 y 8, que resulta más adecuado el apoyo de la placa en los 4 extremos (cielorraso desmontable sobre estructura metálica), logrando de esta manera evitar deformaciones a largo plazo. Se pudo registrar deformaciones máximas de 24 mm luego de 3 años de exposición en algunas de las placas, cuando estas se fijan sólo por dos de sus lados. Por otra parte, el revestimiento cementiceo colocado en la cara inferior de las placas no presentó patología alguna.

En la figura 9 se puede observar un cielorraso bajo una estructura existente, que se fijó mediante perfiles metálicos tipo omega dispuestos en los extremos y en el centro de la placa, buscando evitar las deformaciones registradas en el prototipo con solo dos líneas de sujeción por placa.



Fig. 7. Placas sujetas a tirantearía



Fig. 8. Placas sujetas a estructura metálica



Fig. 9. Cielorraso ejecutado sobre construcción existente

En ensayos de conductividad térmica se obtuvieron valores variables entre 0.108 W/m.K a 0.138 W/m.K en función de las dosificaciones utilizadas y, para el cálculo de transmitancia térmica se empleó el valor más elevado a fin de considerar la situación más conservadora.

Para evaluar las prestaciones de estas placas empleadas como cielorrasos, se realizaron comparaciones con cubiertas que no cuentan con aislación térmica y con otras que incorporan aislantes tradicionales según los datos recopilados en la región algodonera. Para ello se efectuaron los cálculos de transmitancia térmica de acuerdo a los lineamientos de la norma IRAM 11601, que están establecidos por los entes de control como indispensables para verificar las condiciones necesarias que tiene que cumplir una vivienda para alcanzar el acondicionamiento higrotérmico apropiado. La norma IRAM 11605 fija tres condiciones de confort “A – Recomendado”, “B – Medio” y “C – Mínimo”, para las cuales corresponden transmitancias



térmicas máximas admisibles para cada zona bioambiental según las condiciones de flujo del calor a través de la cubierta (Tabla 2).

De acuerdo a la norma IRAM 11603 la región algodонера se encuentra alcanzada principalmente por las zonas bioambientales “Ia” y “Ib”, definidas como muy cálidas, con temperaturas máximas superiores a 34°C en la época caliente y valores medios superiores a 26°C. Por otro lado, el período invernal es poco significativo, con temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12°C.

Nivel de confort	Transmitancia térmica máxima admisible w/(m <sup>2</sup> . K)	
	Condición de verano	Condición de invierno
A	0,18	0,32
B	0,45	0,83
C	0,72	1,00

Tabla 2. Transmitancias térmicas máximas admisibles según el nivel de confort

Luego de comparar los distintos paquetes tradicionales propuestos con aquellos similares que emplean placas de cielorraso de cascarilla de algodón (Tabla 3), y con los valores establecidos por los entes de control como mínimos necesarios para alcanzar el acondicionamiento térmico apropiado de una vivienda (Tabla 2), se puede observar que todos estos superan la transmitancia máxima admisible, incumpliendo con los parámetros recomendados.

Por otro lado, si bien la solución que ofrece el paquete tipo D se acerca a los valores mínimos estipulados, su costo es muy elevado y su aplicación compleja, lo que dificulta su aplicación en viviendas económicas.

Dado que la situación A es una de las que más se repite en la zona algodонера (INDEC) y siendo también la más desfavorable, se calculó el porcentaje en que se puede mejorar el aislamiento higratérmico mediante la implementación de los distintos paquetes constructivos considerados.

Tipo	Estructura	Condición de verano		Condición de invierno	
		KW/(m <sup>2</sup> . K)	Mejora respecto al paquete A	KW/(m <sup>2</sup> . K)	Mejora respecto al paquete A
<b>A</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera sin cielorraso	<b>4,762</b>	-	<b>7,142</b>	-
<b>B</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso de madera y aislación TBA10	2,003	58%	2,330	67%
<b>C</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso de madera y aislación lana de vidrio 25 mm	1,165	76%	1,268	82%
<b>D</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso de madera y aislación poliuretano 25 mm	0,758	84%	0,801	89%
<b>E</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso de cascarilla 30 mm	1,563	<b>67%</b>	2,001	<b>72%</b>





<b>F</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso de cascarilla 20 mm	1,763	<b>62%</b>	2,340	<b>67%</b>
<b>G</b>	Cubierta de chapa s/tirantería met. o de madera c/ cielorraso desmontable de yeso	2,441	49%	3,443	52%
<b>H</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso desmontable Horpac	1,069	78%	1,225	83%
<b>I</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso desmontable placa cascarilla 20 mm	1,896	<b>60%</b>	2,449	<b>66%</b>
<b>J</b>	Cubierta de chapa s/tirantería metálica o de madera con cielorraso desmontable placa cascarilla 30 mm	1,667	<b>65%</b>	2,080	<b>71%</b>

**Tabla 3.** Transmitancia térmica calculada para cada paquete estructural propuesto

**NOTA:** Para el cálculo de los paquetes G, H, I y J (estructuras suspendidas), se consideró un cerramiento lateral de mampostería de 15 cm de espesor, que incide negativamente en los valores de transmitancia obtenidos, pero que a nuestro criterio es más representativo de la realidad.

#### 4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, hasta el presente estado de avance de la investigación, se puede concluir que:

- Es posible conformar elementos constructivos a partir de la aglomeración del residuo del desmote de algodón con el cemento portland, con propiedades físicas y tecnológicas adecuadas, empleando una tecnología sencilla.
- La incorporación de elementos elaborados con residuos de desmote de algodón permite mejorar el comportamiento de cerramientos horizontales en viviendas, sin necesidad de recurrir a materiales de elevado costo. La solución tecnológica propuesta resulta de baja complejidad y reducido costo de producción e instalación, y por lo tanto, adecuada para su aplicación en viviendas económicas. Aplicando estos materiales se alcanza una reducción en la transmitancia térmica de entre un 60 y 72% con respecto a cubiertas de chapa sin aislación.
- El empleo de residuos de desmote en la producción de elementos constructivos contribuiría a paliar la problemática ambiental de este sector agroindustrial y el déficit habitacional de esta región, a la vez que generaría alternativas laborales para la población del noreste argentino y mejoraría las condiciones laborales de los trabajadores de las desmotadoras.



## BIBLIOGRAFÍA

Barbirato, G.; Fiorelli, J.; Barrero, N.G.; Agnolon Pallone, E.M.; Rocco Lahr, F.A.; Cristoforo, A. L.; Savastano Junior, H. *Painel Aglomerado Híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira* Itaúba, Ciência Florestal, vol. 24, núm. 3, julio-septiembre, 2014, pp. 685-697

Ciannamea, E.; Stefani, P.; Ruseckaite, R.. *Medium-density particleboards from modified rice husks and soybean protein concentrate-based adhesives*. *Bioresource Technology* 101 (2010) 818–825.

Cravzov, A.; Chomiczak, S.; Dalla Fontana, L.; Marinich, J. *Evaluación del uso de plaguicidas en cultivos de algodón*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste, 2000.

Cuaderno N° 44 - <http://porquebiotecnologia.com.ar/>

Delssin, E. *Tendencias algodonerías en Argentina*. INTA Centro Reg. Chaco Formosa (2012).

Diario El Liberal. “Sin humo en la planta algodonera.”25-06-2009.

Fiorelli, J.; Donizetti Curtolo, D.; Barrero, N.G.; Savastano Jr., H; Agnolon Pallone, E.M.; Johnson, R. *Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product*, *Industrial Crops and Products* 40 (2012) 69– 75.

Gatani, M.P.; Fiorelli, J.; Medina, J.C.; Arguello, R.; Ruiz, A.; Nascimento, M.F.; Savastano, JR. H.; *Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim*, *Revista Matéria*, v.18, n.2, pp. 1286-1293, 2013.

INDEC “Cuadros V3, H1-D y H1-P, correspondientes al total del país, y provincias de Santa Fe, Chaco y Formosa. Viviendas particulares por material predominante de los pisos, según material predominante de la cubierta exterior del techo y presencia de cielorraso. Año 2010”. Web: [https://www.indec.gov.ar/censos\\_total\\_pais.asp?id\\_tema\\_1=2&id\\_tema\\_2=41&id\\_tema\\_3=135&t=0&s=0&c=2010](https://www.indec.gov.ar/censos_total_pais.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135&t=0&s=0&c=2010)

Informe Argentina sobre situación actual y perspectivas de la producción algodonera – 69° Reunión del CCIA (Comité Consultivo Internacional del Algodón), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación; Lubbock, Texas (EEUU), 2016

José, F.J.; Beraldo, A.L. *Tableros de partículas de bambú Bambusa vulgaris Schrad) y resina poliuretana a base de aceite de ricino (Ricinus communis L.)*, *Ambiente Construido*, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 259-266, out./dez. 2010.

“Mal de Chagas, riesgo de transmisión vectorial”. Web: <http://www.mapaeducativo.edu.ar/mapserver/aen/socioterritorial/chagas/index.php>

Mendez, L.I.; Sotelo, R.M. *Reciclo del Marlo de Maíz. Tableros de Partículas*, ISBN 950-42-0056-7, *Reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) y de residuos de procesos (RP) PROCQMA* - Universidad Tecnológica Nacional, 2006. (11 y 12 de Abril, San Rafael, Mendoza).

Ministerio de Agroindustria. Web: <https://www.agroindustria.gob.ar/datosagroindustriales>



Monteiro de Barros Filho, R.; Marin Mendes, L.; Monteiro Novack, K.; Oliveira Aprelini, L.; Botaro, V.R. *Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin*, *Industrial Crops and Products* 33 (2011) 369–373.

Montgomery, D. C.; Runger, G. C., “*Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*”, Mc Graw Hill, 1996, p. 787.

Pirayesh, H.; Khanjanzadeh, H; Salari, A. *Effect of using walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard*, *Composites: Part B* 45 (2013) 858–863.

Pirayesh, H.; Khazaeian, A.; Tabarsa, T. *The potential for using walnut (Juglans regia L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing*, *Composites: Part B* 43 (2012) 3276–3280.

Pirayesh, H.; Khazaeian, A. *Using almond (Prunus amygdalus L.) shell as a bio-waste resource in wood based composite*, *Composites: Part B* 43 (2012) 1475–1479.

Panyakaew, S.; Fotios, S. *New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse*, *Energy and Buildings* 43 (2011) 1732–1739.

Varandaa, L.; Nascimento, M.F.; Christoforo, A., Lopes Silva, D. A.; Rocco Lahr, F.A. *Oat Hulls as Addition to High Density Panels Production*, *Materials Research*. 2013; 16(6): 1355-1361

Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable. “*Emisiones de dioxinas y furanos por quema incontrolada de biomasa*” (2005). Web: <http://www.chem.unep.ch/POPs/pdf/cpf/Informe%20Biomasa.pdf>

#### Agradecimientos

La concreción de este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la desmotadora de algodón ACRIBA S.A. de Villa Minetti (Santa Fe – Argentina) y al financiamiento de la Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) de la Provincia de Santa Fe y de la Universidad Tecnológica Nacional.